

SIMULASI DAN ANALISIS OPTICAL ADD DROP MULTIPLEXER (OADM) MENGGUNAKAN FIBER BRAGG GRATING (FBG) PADA LINK LONG HAUL

SIMULATION AND ANALYSIS OF OPTICAL ADD DROP MULTIPLEXER (OADM) USING FIBER BRAGG GRATING (FBG) ON LONG HAUL LINK

¹ Yuliana PermataSari² Akhmad Hambali ³ Afief Dias Pambudi

^{1,2,3}Jurusan Teknik Telekomunikasi,Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹yuliana@students.telkomuniversity.ac.id ²bphambali@gmail.com

³afb@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Teknologi *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) dapat dipadukan dengan perangkat *Optical Add Drop Multiplexing* (OADM), sehingga didapatkan konektivitas dan fleksibilitas yang lebih besar dalam jaringan WDM. *Optical Add Drop Multiplexing* (OADM) merupakan perangkat yang digunakan untuk menambah (*add*) dan mengurangi (*drop*) panjang gelombang pada suatu link komunikasi. Untuk memilih panjang gelombang sesuai dengan karakter yang diinginkan, maka dibutuhkan suatu reflektor, yaitu *Fiber Bragg Grating* (FBG).

Perangkat *Optical Add Drop Multiplexing* (OADM) menggunakan Fiber Bragg Grating (FBG) disimulasikan pada perangkat lunak untuk analisis matematis. Teknik *Phase Mask* digunakan untuk fabrikasi FBG. Selain itu, teori *coupled mode* dan metode transfer matriks digunakan untuk mendapatkan karakteristik spektrum dalam FBG. Terdapat beberapa parameter dalam penerapan OADM menggunakan FBG seperti panjang *grating* (l), modulasi indeks bias *grating* (Δn), jumlah *grating* (N). Pada desain perancangan OADM, panjang gelombang yang di-*drop* dan *add* adalah panjang gelombang kedua dan keempat.

Pada tugas akhir ini, menggunakan lima masukan panjang gelombang dalam rentang C-Band, yaitu $\lambda_1 = 1550.92$ nm, $\lambda_2 = 1551.72$ nm, $\lambda_3 = 1552.52$ nm, $\lambda_4 = 1553.33$ nm, $\lambda_5 = 1554.13$ nm, dengan spasi kanal 100 GHz atau 0.8 nm. Pada simulasi didapatkan nilai reflektivitas panjang gelombang kedua (R_2) sebesar 1 dengan $P_{out\lambda_1} = 1$ dB, sehingga tidak mengakibatkan *crosstalk*. Sedangkan pada panjang gelombang keempat (R_4) = 1 dengan $P_{out\lambda_4} = 1$ dB, sehingga tidak mengakibatkan *crosstalk*.

Kata Kunci : WDM, OADM, FBG, Crosstalk

ABSTRACT

WDM technology combined with Optical Add Drop Multiplexing (OADM) enables greater connectivity and flexibility of WDM network. Optical Add Drop Multiplexing (OADM) is a device to add and drop wavelengths in a optical communication link. To add and drop particular wavelength, reflector is needed, namely, Fiber Bragg Grating (FBG).

Coupled mode theory is used to analyze the spectrum of FBG and transfer matrix method is used to obtain characteristics of the FBG spectrum. There are many parameters in designing FBG, such as grating length (l), modulation of the refractive index grating (Δn), and number of gratings (N). In this research, the dropped and added wavelength are the second and the fourth lambda.

This research uses five wavelengths in the range of C-Band, $\lambda_1 = 1550.92$ nm, $\lambda_2 = 1551.72$ nm, $\lambda_3 = 1552.52$ nm, $\lambda_4 = 1553.33$ nm, $\lambda_5 = 1554.13$ nm, with 100 GHz or 0.8 nm channel spacing. Of the simulation result, the reflectivity of second lambda (R_2) is 1 and $P_{out\lambda_1} = 1$ dB, so there is no crosstalk. While at fourth lambda, the reflectivity (R_4) is 1 and $P_{out\lambda_4} = 1$ dB, so there is no crosstalk.

Keywords: WDM, OADM, FBG, Crosstalk

1. Pendahuluan

Dalam WDM terdapat perangkat *Optical Add Drop Multiplexing* (OADM) yaitu perangkat yang berfungsi menambahkan atau mengurangi panjang gelombang. Salah satu perangkat yang mendukung untuk membantu menambah (*add*) atau mengurangi (*drop*) panjang gelombang dalam OADM yaitu *Fiber Bragg Grating* (FBG). *Fiber Bragg Grating* (FBG) merupakan salah satu jenis serat yang indeks biasnya berubah secara periodik, sehingga FBG dapat berfungsi sebagai refleksi dan transmisi. Pada serat optik kisi-kisi bragg terbentuk seperti segmen-segmen dengan jarak yang sama. Pada keadaan tertentu FBG akan memantulkan panjang optik tertentu dan akan meneruskan panjang gelombang tertentu.

Pada tugas akhir ini dilakukan simulasi dan analisa OADM menggunakan FBG pada link lonh haul. Jenis FBG yang dipakai adalah jenis Uniform di serat optik single mode. Dengan acuan frekuensi C-Band dengan spasi kanal 100 GHz. Pada penelitian kali ini menyatakan untuk mengkarakteristikan FBG dapat dilakukan dengan metode transfer matrik dan *coupled mode*. Terdapat beberapa parameter yang dianalisa seperti panjang *grating* indeks bias *grating*, jumlah *grating* serta pengaruh pererapan OADM menggunakan FBG.

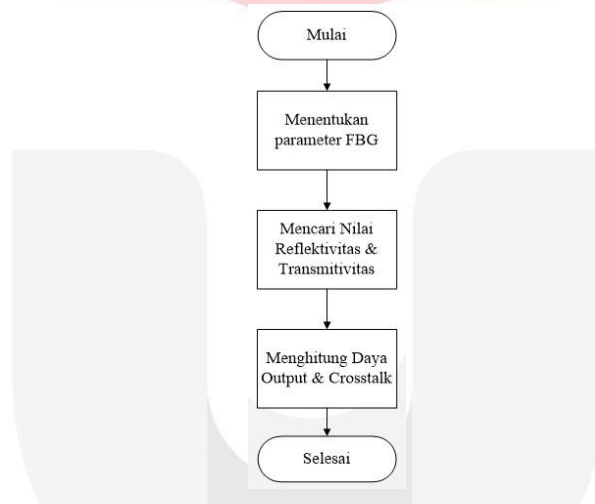
2. Landasan Teori

Optical Add Drop Multiplexer merupakan suatu teknologi yang dapat menambah atau mengurangi panjang gelombang pada suatu jaringan. Menambah atau mengurangi disini berarti, perangkat dalam menambahkan panjang gelombang yang baru pada saluran transmisi dan atau mengurangi satu atau lebih panjang gelombang pada saluran transmisi. Perangkat OADM terdapat pada teknologi DWDM. Struktur OADM terdiri dari *circulator* dan FBG. Fungsi dari OADM yaitu, melakukan multiplexing panjang gelombang, serta kemampuan dalam *drop* dan *add* panjang gelombang.

FBG (*Fiber Bragg Grating*) merupakan salah satu jenis fiber yang indeks bias nya berubah secara periodik. FBG dapat memantulkan panjang gelombang dengan karakteristik tertentu dan dapat meneruskan sisanya. Dengan karakteristik yang dimiliki FBG dapat di fungsikan sebagai *reflketor* optik, yaitu untuk memantulkan panjang gelombang yang di butuhkan dan meneruskan panjang gelombang lainnya. Kondisi yang memiliki nilai refleksi tinggi disebut kondisi Bragg.

3. Model Sistem

Berikut adalah diagram alir simulasi secara umum,



Gambar 3.1Diagram Alir Simulasi

Pada gambar 3.1 menunjukkan diagram alir sistem secara umum, proses awal dimulai dengan menentukan parameter-parameter FBG. Untuk mendapatkan parameter FBG dengan mengubah-ubah indeks bias, panjang *grating*, dan jumlah *grating*. Selanjutnya melakukan analisa matematik untuk mencari nilai reflektivitas dan transmittivitas FBG. Setelah melakukan analisa matematik dilanjutkan dengan simulasi pada software untuk mendapatkan spektrum FBG. Sedangkan nilai Transmittivitas didapatkan setelah mendapatkan nilai reflektivitas. Langkah terakhir dari diagram alir yaitu mencari nilai P_{out} , P_{out}' , serta nilai crosstalk.

3.1 Reflektivitas dan Transmittivitas Dalam Simulasi

Pada gambar 3.2 menunjukkan diagram alir untuk mendapatkan nilai reflektivitas dan transmittivitas FBG.. Dengan menetapkan parameter-parameter yang sesuai dengan karakteristik FBG, didapatkan nilai V , n_{eff} , koefisien kopling serta periode pada FBG. Sesuai dengan persamaan 2.2. Panjang gelombang *bragg* bergantung pada periode (Λ) dan indeks bias efektif (n_{eff}). FBG memiliki nilai modulasi indeks bias (Δn) yang berbeda-beda mulai dari 10^{-5} sampai 10^{-2} [6]. Modulasi indeks bias (Δn) berpengaruh terhadap nilai koefisien kopling, sesuai pada persamaan 2.11. Terdapat dua metode yang digunakan untuk mencari nilai reflektivitas dan transmittivitas dari FBG, yaitu teori *couple mode* dan transfer matriks.

Berdasarkan persamaan (2.2) didapat bahwa panjang gelombang Bragg bergantung pada periode (Λ) dan indeks bias efektif (n_{eff}). Indeks bias efektif serat adalah^[8]

$$n_{eff}^2 = n_{cl}^2 + \frac{1}{2} (1.1428V - 0.996)^2 \quad (3.1)$$

dimana^[8]

$$V = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{n_c^2}{n_{cl}^2}} \quad (3.2)$$

dengan V = frekuensi normalisasi serat, r = jari-jari core, n_c dan n_{cl} adalah indeks bias core dan indeks bias cladding. Dengan menggunakan teori coupled mode dan persamaan 2.25 dan 2.26, rumus refleksi Bragg Grating dalam simulasi adalah sebagai berikut^[8]:

$$R(l, \lambda) = \frac{\sinh^2(\gamma l)}{1 + \frac{\gamma^2}{\beta^2}} \quad (3.3)$$

dimana^[8]

$$\delta = \beta - \beta_{\text{neff}} = 2\pi \left(\frac{n_c}{\lambda} - \frac{n_{\text{eff}}}{\lambda} \right) \quad (3.4)$$

$$\beta = \frac{2\pi n_{\text{eff}}}{\lambda} \quad (3.5)$$

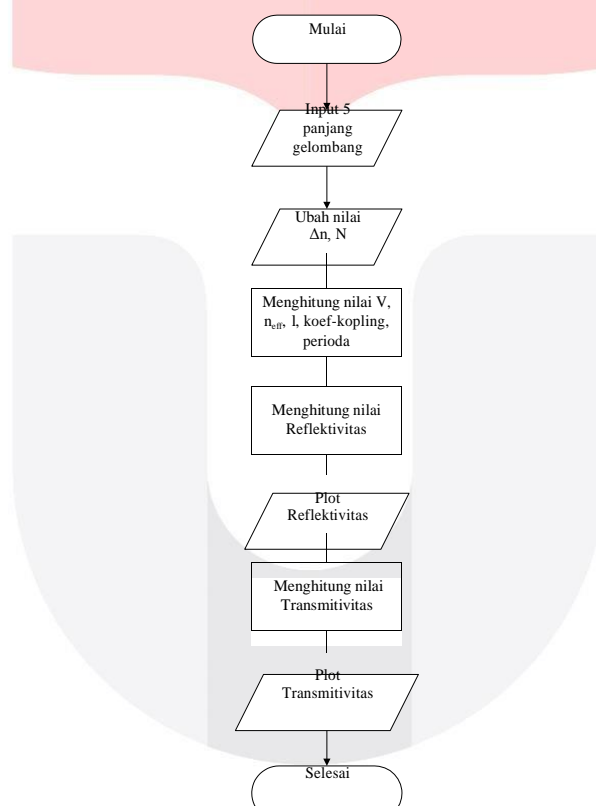
Berdasarkan persamaan 2.11 dan 2.16 diperoleh persamaan^[8]:

$$\gamma = \sqrt{\beta^2 - \delta^2} \quad (3.6)$$

dengan $R(l, \lambda)$ adalah refleksi sebagai fungsi dari panjang grating l dan panjang gelombang λ , γ adalah koefisien kopling, δ adalah vektor gelombang detuning, serta β adalah konstanta propagasi, n_{eff} adalah indeks bias serat. Pada saat kondisi $\delta = 0$ refleksi akan mencapai maksimum^[6]

$$R_{\text{peak}} = \tanh^2(\gamma l) \quad (3.7)$$

Berikut diagram alir yang menggambarkan untuk menentukan reflektivitas dan transmitivitas FBG:



Gambar 3.2 Diagram Alir Untuk Mencari Nilai Reflektivitas Dan Transmitivitas

3.2. P_{out} , P_{out}' , Dan Crosstalk Dalam Sistem

Pada sumber P_{in} memiliki nilai 1 mw (0 dBm), kemudian dilakukan analisa matematik untuk mendapatkan nilai P_{out} sesuai persamaan berikut:

$$P_{\text{out}} = R \cdot P_{\text{in}} \quad (3.8)$$

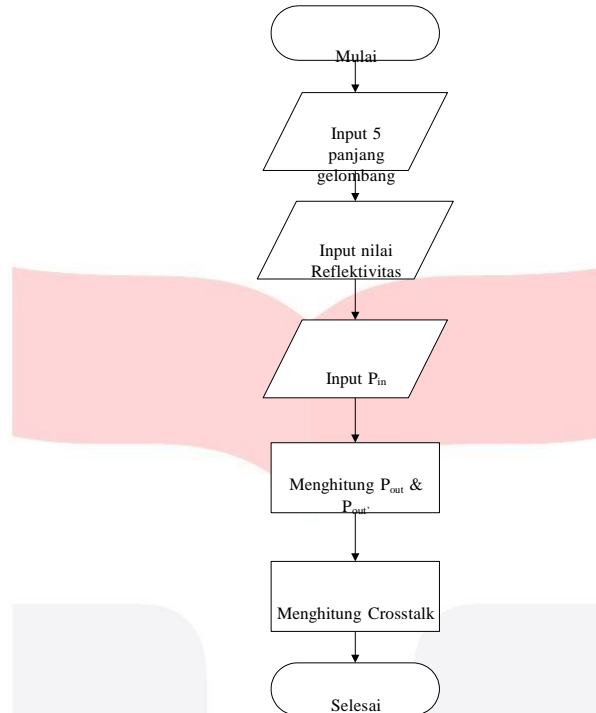
P_{out} merupakan nilai daya output yang diterima pada suatu kanal input tanpa crosstalk^[16]. Selain P_{out} , dianalisa juga nilai P_{out}' , crosstalk pada sistem. Crosstalk timbul akibat adanya penurunan daya pada panjang gelombang yang mengalami refleksi dan di keluarkan pada port *drop circulator*, kemudian panjang gelombang yang telah terefleksi akan ditambahkan pada port *add circulator* untuk pemtransmisian berikutnya^[16]. Untuk mendapatkan nilai crosstalk, sebelumnya harus mencari nilai daya output yang diterima suatu kanal input yang melibatkan crosstalk. Sesuai persamaa berikut^[19]:

$$P'_{out} = R \cdot P_{in} - 2 \sqrt{R \cdot (1 - R)} \cdot P_{in} \cdot \sum_{i=1}^n \sqrt{\varepsilon_i} \quad (3.9)$$

dimana: R = reflektivitas FBG

ε_i = optical power ratio di setiap komponen sinyal crosstalk

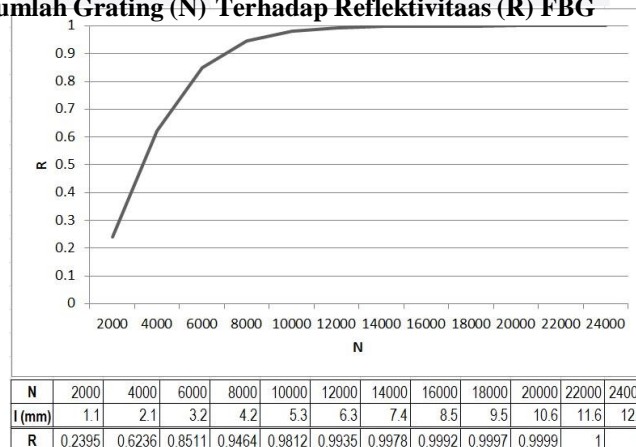
Setelah mendapatkan nilai P_{out} dan P'_{out} , selanjutnya melakukan perhitungan crosstalk sesuai persamaan 2.27. Gambaran umum diagram alir untuk mendapatkan nilai P_{out} , P'_{out} dan Crosstalk dapat digambarkan pada diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3.3 Diagram Alir Untuk Mencari P_{out} , P'_{out} , Dan Crosstalk

4. Analisa Hasil Simulasi

4.1. Analisa Pengaruh Jumlah Grating (N) Terhadap Reflektivitas (R) FBG

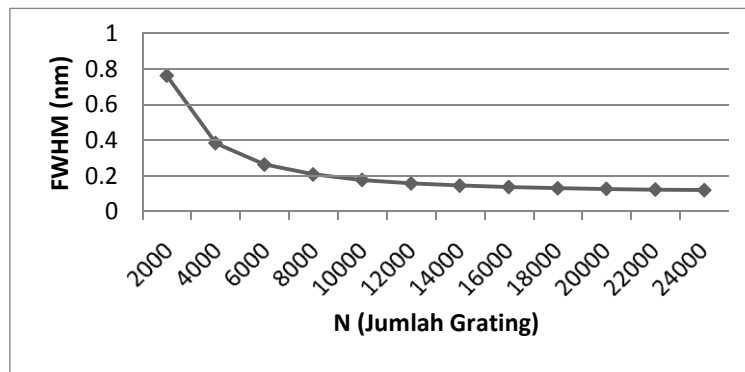


Grafik 4.1 Grafik Pengaruh Jumlah Grating Terhadap Reflektivitas FBG

Pada skenario ini, jumlah *grating* merupakan variabel yang diubah-ubah untuk mengetahui pengaruh panjang *grating* terhadap nilai reflektivitas FBG. Selain itu, ditetapkan $n_1 = 1.47$, $n_2 = 1.457$, $r = 5\mu\text{m}$, $\Delta n = 0.00025$. Dari simulasi didapatkan nilai reflektivitas sesuai dengan jumlah *grating* (N) yang digunakan dari 2000 sampai 24000. Semakin banyak jumlah *grating* yang digunakan, nilai reflektivitas mendekati satu, seperti terlihat pada gambar 4.1.

4.2. Analisa Pengaruh Jumlah Grating (N) Terhadap FWHM

Perbedaan jumlah *grating* (N) berpengaruh terhadap reflektivitas FBG dan FWHM. Dengan menetapkan $n_1 = 1.47$, $n_2 = 1.457$, $\Delta n = 0.00025$, $r = 5\mu\text{m}$. Nilai jumlah *grating* yang disimulasikan berubah dari $N=2000$ sampai $N=24000$. Didapatkan hasil, jika jumlah *grating* (N) semakin besar maka FWHM akan semakin sempit. Jadi, pengaruh jumlah *grating* (N) berbanding terbalik dengan FWHM, seperti terlihat pada gambar 4.2.

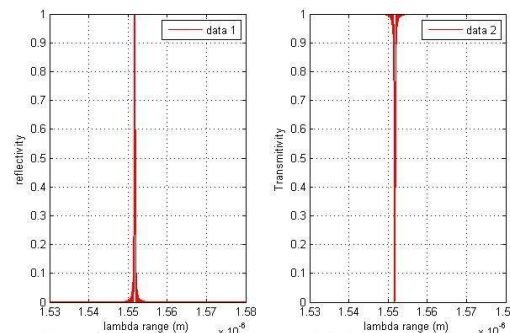


Grafik 4.2 Grafik Pengaruh Perubahan Modulasi Indeks Bias Terhadap Reflektivitas FBG

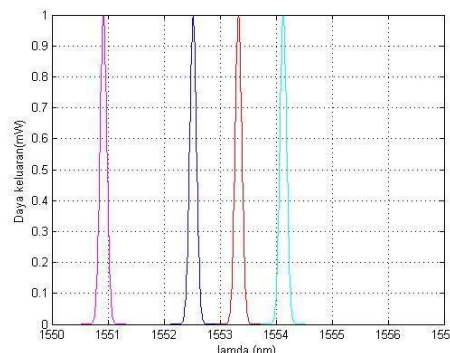
4.5 Analisa Simulasi Add And Drop OADM

4.5.1 Panjang Gelombang Kedua (1.551.72 nm)

Sebelum melakukan simulasi pada perangkat lunak, melalui analisa matematis didapatkan nilai reflektivitas dan transmitivitas dari FBG_1 . Perhitungan reflektivitas bergantung terhadap nilai indeks bias *grating*, oleh karena itu ditetapkan indeks bias *grating* (Δn) bernilai 0.00025. Dengan nilai indeks bias tersebut secara matematis didapat nilai koefisien kopling, sesuai dengan persamaan 2.11. Setelah mendapatkan nilai koefisien kopling, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari nilai reflektivitas, sesuai dengan persamaan 3.9. Dari simulasi didapatkan nilai spektrum reflektivitas panjang gelombang kedua sebesar (R_2) = 1 dan nilai transmitivitas panjang gelombang kedua (T_2) = 0. Besar daya reflektivitas dari panjang gelombang kedua sebesar $P_{\text{out}\lambda_2} = 1\text{mW}$. Sedangkan pada FBG_1 memiliki *gain* pada FBG_1 memiliki sebesar 100%.

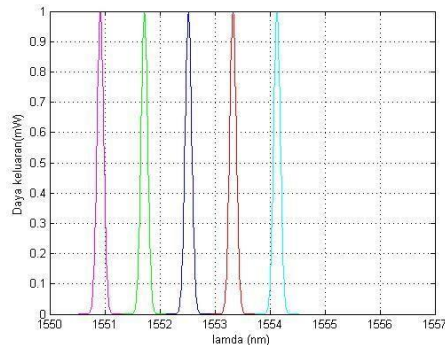


Gambar 4.1 Hasil Reflektivitas & Transmitivitas Panjang Gelombang Kedua



Gambar 4.2 Spektrum Sinyal Drop Panjang Gelombang Kedua

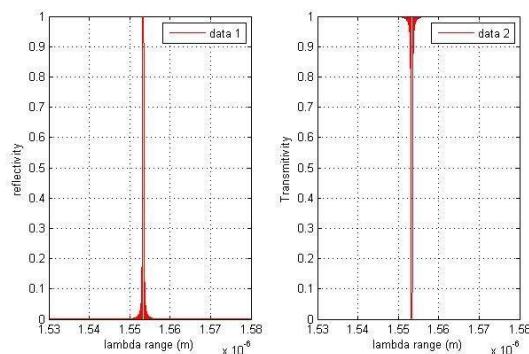
Setelah melakukan *drop* pada panjang gelombang kedua, dan selanjutnya dilakukan *add* menggunakan FBG yang mempunyai frekuensi *bragg* sama dengan frekuensi panjang gelombang kedua. Pada tugas akhir kali ini, dianalisa keluaran panjang gelombang pada blok penerima dengan panjang gelombang pengirim. Di mana dengan masukan lima panjang gelombang pada pengirim maka pada penerima juga harus lima panjang gelombang. Pada gambar 4.3 menunjukkan hasil sinyal keluaran setelah di-*add*, penambahan panjang gelombang melalui port *circulator* selanjutnya panjang gelombang yang ditambahkan tadi melewati FBG.



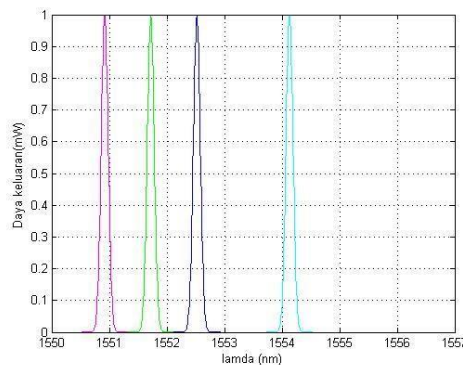
Gambar 4.3 Spektrum Sinyal Pada Circulator Kedua setelah di-Add

4.5.2 Panjang Gelombang Keempat (1553.33 nm)

Panjang gelombang *bragg* yang kedua memiliki karakteristik yang sama dengan panjang gelombang masukan keempat sehingga panjang gelombang keempat direfleksikan oleh FBG₂. Nilai reflektivitas dan transmitivitas FBG₂ terlihat pada gambar 4.4. Dari simulasi didapatkan nilai reflektivitas sebesar (R_4) = 1 dan nilai transmitivitas (T_4) = 0 pada panjang gelombang keempat. Pada gambar 4.5 menunjukkan nilai daya output dari reflektivitas panjang gelombang keempat, Besar daya keluaran $P_{out4} = 1$ mW serta FBG₂ memiliki *gain* sebesar 100%.

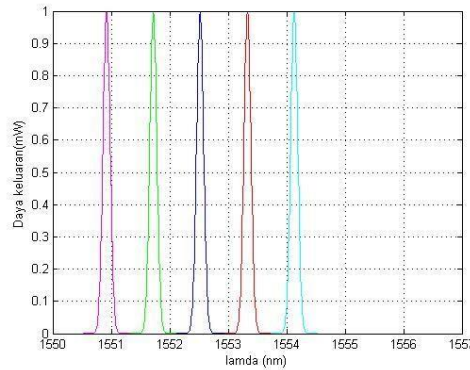


Gambar 4.4 Reflektivitas & Transmitivitas Panjang Gelombang Keempat



Gambar 4.5 Spektrum Keluaran Panjang Gelombang Keempat

Spektrum sinyal keluaran pada blok penerima setelah di *add* dengan panjang gelombang yang memiliki frekuensi yang sama dengan panjang gelombang keempat dapat dilihat pada gambar 4.6. Ketika sampai di penerima spektrum sinyal keluaran mengalami penurunan daya. Besarnya daya keluaran pada setiap panjang gelombang adalah $P_{out1} = P_{out2} = P_{out3} = P_{out4} = P_{out5} = 1$ mW.



Gambar 4.6 Spektrum Sinyal Keluaran Pada Penerima

4.6 Crosstalk

Nilai *crosstalk* dipengaruhi oleh nilai reflektivitas dari FBG yang besarnya di pengaruhi oleh panjang *grating* dan modulasi indeks bias *grating*. Pada penelitian kali ini akan dianalisis *crosstalk* yang terjadi pada panjang gelombang kedua dan keempat. Untuk mendapatkan nilai *crosstalk* dilakukan analisa matematis, berdasarkan persamaan 3.8, 3.9, dan 2.27 dengan menetapkan nilai indeks bias *grating* sebesar 0.00025, P_{in} sebesar 1 mW. Dari perhitungan yang dilakukan, nilai dengan reflektivitas panjang gelombang kedua (R_2) sebesar 1 sehingga tidak mengakibatkan *crosstalk*, sedangkan pada panjang gelombang ke empat nilai reflektivitas (R_4) sebesar 1 sehingga tidak mengakibatkan *crosstalk* pada panjang gelombang keempat.

5 Kesimpulan

Dengan menggunakan metode coupled mode dan menerapkan pada metode transfer matriks didapatkan parameter-parameter untuk mengkarakteristikan FBG seperti panjang *grating*, modulasi indeks bias *grating*, serta jumlah *grating*. Sehingga dari simulasi dan analisa perancangan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk desain FBG yang sesuai dengan panjang gelombang kedua $\lambda_2 = 1551.72$ nm menggunakan $\Delta n = 0.00025$, $l = 12.7$ mm, $N = 24000$, sebagai *reflektor* untuk proses *add* dan *drop* panjang gelombang didapatkan nilai reflektivitas untuk panjang gelombang kedua sebesar 1 sehingga tidak mengakibatkan adanya *crosstalk*, dengan nilai FWHM untuk $\lambda_2 = 0.14694$ nm atau masih di dalam range spesifikasi (0.1 nm- 1.5 nm).
2. Untuk desain FBG yang sesuai dengan panjang gelombang keempat $\lambda_4 = 1553.33$ nm menggunakan $\Delta n = 0.00025$, $l = 12.7$ mm, $N = 24000$, sebagai *reflektor* untuk proses *add* dan *drop* panjang gelombang didapatkan nilai reflektivitas untuk panjang gelombang keempat sebesar 1 sehingga tidak mengakibatkan *crosstalk*, dengan nilai FWHM untuk $\lambda_4 = 0.14079$ nm atau masih di dalam range spesifikasi (0.1 nm- 1.5 nm).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Armys, Maya, *Analisis Perencanaan Serat Optik DWDM Jalur Semarang Solo Jogjakarta Di PT. Telkom ,Tbk*, Indonesia, 2009.
- [2] Rochmah, *Rancang bangun sistem komunikasi serat optik antara Jakarta & Bandung*, Indonesia, 1992.
- [3] N. Mohamed1, S. M. Idrus, dkk., *Frequency Up-Conversion Technique for Radio Over Fiber (RoF) Remote Antenna Unit Configuration*, Universiti Teknologi Malaysia, Razak School of Engineering and Advanced Technology, Kuala Lumpur, Malaysia, 2012.
- [4] Keiser, Gerd, *Optical Fiber Communications*, Boston: McGraw-Hill, Edisi 5, 2013.
- [5] Widasari, Edita Rosana, Analisa Penerapan Optical Add Drop Multiplexer (OADM) Menggunakan Fiber Bragg Grating (FBG) Pada Teknik Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM), *Jurnal Mahasiswa TEUB*, Vol 1, No 2, halaman 1 s.d. 6, 2013.
- [6] Andre, P.S, Pinto, A.N, Pinto, J.L, Almeida,T, Pousa, M., Selective and Wavelength Transparent Optical Add-Drop Multiplexer Based on Fiber Bragg Gratings. *In Journal of Communication Technology and Electronics*. 2000.

- [7] Ramaswami, Rajiv, Sivarajan, N. Kumar, Sasaki, H. Galen. *Optical Network: A Practical Persective*, Morgan Kufmann. Edisi 3, 2010.
- [8] Othonos, Andreas, *Fiber Bragg Gratings*. University of Cyprus. 1997
- [9] T. Erdogan, Fiber Grating Spectra, *Journal Of Lightwave Technlogy*, vol 15, pp. 1278-1294, 1997.
- [10] Helan, Radek. *Uniform Fiber Bragg Grating Properties*, Doctoral Degree Programme, Dept of Microelectronics, FEEC, BUT.
- [11] Guan, Bai-Ou. *Cladding Mode Effect in Superstructure Fiber Bragg Gratings and Its Applications in Simultaneous Strain and Temperature Measurement*, Hong Kong : Hongkong Polytech, 2010.
- [12] Barua,Bobby, *Evaluate The Performance of Optical Cross Connect on Fiber Bragg Grating Under Different Bit Rate*, Bangladesh, 2011.
- [13] Wahyuni, Pipit Sri, Karakteristik Fiber Bragg Grating (FBG) Tipe Uniform Dengan Modulasi Akustik Menggunakan Metode Transfer Matrik, dalam Seminar Nasional Fisika, Hal.406-414, 2011.
- [14] Mahiuddin, M, dan Islam, M. Incoherent Crosstalk Analysis in Fiber Bragg Grating Based Optical Add/Drop Multiplexer in Optical Networks, Bangladesh, 2010.
- [15] Abd El-Naser A. Mohammed, Gaber E. S. M. El-Abyad, Abd El-Fattah A, Saad, and Ahmed Nabih Zaki Rashed, High Transmission Bit Rate of A thermal Arrayed Waveguide Grating (AWG) Module in Passive Optical Networks, *IJCSIS International Journal of Computer Science and Information Security*, Vol. 1, No. 1, pp. 13-22, 2009.
- [16] Chiareli, Alessandra, *Troubleshooting Fiber Bragg Grating Fabrication with Modeling*, Fiber Optik And Electronic Technology Center, 1999.
- [17] Sinuhaji, Depi Santi, Karakterisasi *Fiber Bragg Grating* (FBG) untuk Pengembangan Sistem Sensor Strain Tanah, Medan : Universitas Sumatera Utara, 2010.

